饲粮锰调节母禽繁殖性能的内分泌机制[1]

解竞静　罗绪刚

（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，北京 100193）

摘要：母禽的繁殖性能对蛋鸡生产以及整个肉鸡产业链均有着非常重要的影响力。锰作为相关功能酶的必需组成成分或重要激活成分，除了参与动物的生长发育、糖与脂肪代谢等活动，在维持生殖机能方面也有着重要作用。本文从母禽繁殖性能的神经内分泌调控途径入手，总结了锰在性激素的生物合成、中枢神经内分泌系统、蛋品质等方面的作用机制，探讨了不同形态锰的生物学活性差异，以期为锰在母禽（特别是产蛋期）的应用提供理论支持。

关键词：锰源；母禽；繁殖性能；神经内分泌；蛋品质

中图分类号：S831.1；S816.72　　　　　文献标识码：　　　　　　　文章编号：

锰是人和动物所必需的微量元素之一，具有重要的生理功能。作为相关功能酶的必需组成成分或重要激活成分，锰参与动物的生长发育、糖与脂肪代谢、凝血、神经及内分泌活动[1]。锰缺乏可导致家禽骨骼发育不良和滑肌症、胚胎软骨和营养障碍[2]。锰在维持动物的生殖机能也有着重要的作用[3]。缺锰时，雌性动物可发生排卵障碍、雄性动物睾丸退化以及子代死亡[3]；过量锰也对动物生殖造成严重的损伤。哺乳动物发生锰缺乏症的情况较少见，但由于肉鸡等家禽对锰的需要量高、饲粮中锰水平较低，且锰在肠道的吸收率较低，锰缺乏在家禽生产中较为常见，缺锰对产蛋鸡的产蛋率和孵化率产生负面影响[2,4]。通过饲粮添加锰可以显著地提高蛋禽产蛋率、改善蛋品质和繁殖性能[5]。母禽的繁殖性能对蛋鸡生产以及整个肉鸡产业链均有着非常重要的影响力。因此，本文从母禽繁殖性能的神经内分泌调控途径、锰调控母禽繁殖性能的机制以及不同锰源生物学活性差异入手，综述了锰对母禽的营养作用。

收稿日期：2015-08-18

基金项目：国家自然科学基金青年基金项目（31201818）；国家自然科学基金重大国际合作研究项目（31110103916）

作者简介：解竞静（1983-），女，江苏南京人，博士，助理研究员，研究方向为动物营养生理。E-mail: xiejingjing@caas.cn

1 家禽繁殖性能的神经内分泌调控机制

与哺乳动物相似，禽类繁殖能力的获得和维持都受神经内分泌系统的繁殖轴（下丘脑-垂体-性腺轴）控制。下丘脑促性腺激素释放激素（gonadotropin-releasing hormone，GnRH）神经元合成和分泌 GnRH 的经正中隆起释放于垂体门脉系统后并与其受体结合，促进和调节垂体前叶的促性腺激素细胞分泌卵泡刺激素（follicle-stimulatinghormone，FSH）和黄体生成素（luteinizing hormone，LH）。垂体分泌的促性腺激素 FSH 和 LH 经血液循环作用于性腺，促进性腺的发育、成熟及生殖激素的产生。因此，下丘脑作为神经内分泌的整合中枢是繁殖调节的核心，而垂体是下丘脑整合功能的中继核心。哺乳动物的 FSH 和 LH 是由同一垂体前叶细胞分泌的，而家禽的促性腺激素 FSH 和 LH 则是由不同的垂体前叶细胞分泌的[6-7]，因此家禽的 FSH 和 LH 的合成和分泌的调控机制可能更为复杂。

与机体其他机能一样，动物繁殖性能取决于基因型和环境。产蛋家禽（肉种母鸡与蛋鸡）存在着明显的品种差异。现代肉鸡生长速度快、饲料转化率高、产肉率高，但由于长期对于肌肉生长的选育，对肉种鸡繁殖性能造成了严重的负面影响[8]。与蛋鸡相比，肉种母鸡的产蛋序列长度较短，易发生超数排卵的情况。超数排卵破坏了正常的产蛋行为，而造成肉种母鸡产蛋总量较低[9]、多产生破蛋和软壳蛋以及种蛋蛋壳钙化不足、种蛋的受精率显著下降[10]。肉种母鸡繁殖性能下降的重要原因是，肉种母鸡黄卵泡（8~10 mm）对促性腺激素更敏感，易发生过多地募集黄卵泡而超数排卵的现象[11]。进一步试验发现超数排卵可能是由 LH 诱导产生的；而 FSH 则可以通过降低卵泡对 LH 的敏感性，进而抑制超数排卵[12]，提示 FSH 和 LH 的互相作用对肉种母鸡的繁殖，特别是卵泡募集，有着重要的作用。

对于一些复杂的生理功能，环境因素起很重要的作用，其中营养是重要的环境因素之一。环境可以通过神经内分泌系统（以下丘脑-垂体-靶器官的形式），与基因型进行整合调节机体功能。因此，通过营养调控繁殖轴活动，特别是下丘脑 GnRH 及垂体 LH 和 FSH 的分泌，在改善肉种母鸡的繁殖性能中起着重要作用。在肉种鸡生产中，改变营养环境，例如限制性饲喂，显著地减少了肉种母鸡正中隆起 GnRH 的储存和垂体 LH 和 FSH 的水平，推迟了 LH、FSH 的分泌高峰和开产时间[13-14]，显著地降低了超数排卵的发生，从而提高了产蛋率[14-17]。

2 锰影响家禽繁殖性能的作用机制

2.1 性激素的生物合成

性激素生物合成的前体是胆固醇，通过侧链缩短、A 环芳香化，依次生成 21 碳的孕酮、19 碳的雄激素和 18 碳的雌激素。胆固醇生物合成受阻会导致性激素的缺乏[18]。胆固醇的生物合成是个多酶促反应过程，主要包括 4 个阶段：乙酰辅酶 A 合成甲羟基戊酸、甲羟基戊酸生成异戊烯焦磷酸、鲨烯的合成及鲨烯转换为胆固醇。锰是胆固醇合成途径第 2 阶段和第 3 阶段催化酶的甲羟戊酸激酶和法尼基焦磷酸合成酶的辅因子，因此影响胆固醇合成可能是锰调节性激素水平的途径之一。尽管大鼠的研究结果表明，暴露过量锰可以显著地改变肝脏和大脑中胆固醇和脂质代谢[19]，但是非过量的饲粮锰水平对动物的胆固醇代谢的影响并不显著，饲粮添加锰（0~150 mg/kg）并不影响 5~16 周龄的鹅[20]、蛋雏鸭[21]和 3~5 周龄肉鸡[22]血清中总胆固醇的水平，产蛋鸡（肉种母鸡、产蛋蛋鸡）总胆固醇代谢也不受到饲粮锰的影响[23-25]。因此，调节性激素前体胆固醇的合成可能不是锰调控家禽繁殖性能的主要途径。

2.2 中枢神经内分泌系统

产蛋期母鸡缺锰时，产蛋率下降，血液中孕酮、雌激素、LH 和 FSH 的水平下调[26-27]。通过饲粮添加锰（200 mg/kg）可以显著提高产蛋高峰期肉种母鸡垂体中 FSH 的表达，但对 LH 无显著影响[23]。由此可见，垂体 LH 和 FSH 合成和分泌，特别是 FSH，很可能是锰调控家禽繁殖性能的重要靶点。影响垂体促性腺激素的分泌可能有 3 个主要途径。

途径一是锰直接作用于垂体前叶调节促性腺激素细胞的活动。垂体前叶对锰有相当大的亲和性[28]，摄入的锰在小脑、下丘脑和垂体可较快地吸收和沉积[29]，因此锰可直接作用于这些组织的细胞。目前仅有少数的试验显示，锰离子（Mn^{2+}）可以作为钙离子（Ca^{2+}）的拮抗剂参与调控催乳素（prolactin，PRL）的分泌[30]，Mn^{2+}能否直接影响 LH 和 FSH 的分泌仍需进一步的试验验证。

途径二是通过改变 GnRH 的合成和分泌从而改变其对垂体促性腺激素细胞的刺激作用。研究表明，饲粮添加 200 mg/kg 锰，产蛋高峰期肉种母鸡下丘脑中 GnRH-1 表达水平是对照组的 2 倍[23]。用 SD 大鼠作为动物模型，脑室直接注射氯化锰（$MnCl_2$）浓度依赖性地诱导 LH 分泌，但这个诱导作用可以被 GnRH 受体抑制剂完全阻断掉，提示锰对 LH 分泌的诱导要通过 GnRH 来介导[31-32]。体外试验证实，锰是通过激活鸟苷酸环化酶（GC）/蛋白激酶 G（PKG）途径来促进 GnRH 分泌[32-33]。

途径三是通过调节多巴胺和 PRL 合成和分泌来改变对垂体促性腺激素细胞的分泌作用。

多巴胺是垂体前叶 PRL 分泌的重要调节因子[34]，它还与 PRL 协同作用调节促性腺激素分泌[35-36]。已有大量的研究表明，大量锰通过血脑屏障蓄积在大脑中，可引起多巴胺神经元的退行性变化，显著地降低多巴胺的合成和分泌[37-38]。对锰矿工人的跟踪和调查发现，过量锰干扰了内分泌系统的活动，改变了血液中 PRL、FSH、LH 的水平[39]。但我们的研究结果表明，饲粮锰（0~240 mg/kg）对肉种母鸡垂体 PRL 和多巴胺的合成酶未产生显著影响。因此，在非毒性的条件下，锰对多巴胺和 PRL 的影响十分有限，锰能否通过多巴胺和 PRL 影响禽类的繁殖性能与饲粮中锰水平密切相关。

2.3 蛋壳品质

种蛋品质是母禽繁殖性能的重要体现，蛋壳质量显著影响种蛋的孵化率。以肉鸡种蛋为例，厚壳的种蛋（>1.080）孵化率、受精率显著高于薄壳的种蛋，而中期和后期的胚胎死亡率较低[40]。孙从佼等[41]认为，种蛋哈氏单位、蛋白高度、蛋重与受精率和孵化率呈正相关，而蛋壳强度与受精蛋孵化率呈负相关。研究表明，长期饲喂缺锰饲粮显著降低了蛋壳强度，种蛋破损、软壳和异形增加[23,42-43]，对种蛋的受精率和孵化率均产生显著的负面影响[42,44]。种蛋蛋壳品质的变化可能是由于显微结构的改变引起的。缺锰饲粮，蛋壳的乳头突起大而不规则，蛋壳中己糖胺和己糖醛酸的水平显著下降[45-46]。饲粮添加锰，蛋壳乳头锥减小，蛋壳中黏多糖和糖醛酸水平提高，蛋壳腺中 Gal β1-3 葡萄糖基转移酶的表达上调[47]。锰是糖基转移酶特异性辅因子，因此，饲粮锰可以通过调节蛋壳中黏多糖的糖基化而影响蛋壳品质以及种蛋的受精率和孵化率。

3 不同来源锰的生物学功能

3.1 生物学利用率

饲粮锰添加形式可大致分为 2 种：无机锰和有机锰。有机锰是通过特定的化学反应体系，把有机物（氨基酸、小肽、蛋白质）与锰元素发生络合或螯合。通过比斜率法[48-50]，以硫酸锰（$MnSO_4$）生物学利用率为 100%，可以计算出有机锰的相对生物学利用率。杨斌等[48]报道了 2 种氨基酸螯合锰在肉鸡的相对生物学利用率分别为 136%和 143%（以胫骨无脂干重锰含量为指标）或 114%和 144%（以胫骨灰分锰含量为指标），因此有机锰的相对生物学利用率计算与敏感指标密切相关。由于饲粮锰可以从转录和翻译水平影响含锰超氧化物歧化酶（MnSOD）的表达[51]，Luo 等[52]认为心脏 *MnSOD* 的基因表达可以更为敏感地反映不用

来源锰的生物学利用率，更优于用胫骨强度和灰分等作为生物学指标来估测有机锰的生物学利用率。

有机锰的相对生物学利用率与其络合强度有密切联系。通过极谱法可以估测有机锰的络合强度，将不同有机锰分为高、中、低络合强度的有机锰[53]。有机锰的络合强度可以很好地反映肉鸡对有机锰的利用率，其中中等络合强度的有机锰的相对生物学利用率最高，高络合强度的有机锰次之，而低络合强度的有机锰与无机锰相仿[53]。不同络合强度的有机锰的生物学利用率不同可能与锰在肠道的转运以及在靶组织的释放密切相关[54-56]。不同来源锰的相对生物学利用率也受到养殖环境的影响。在适温和高温环境中，Smith 等[49]发现肉鸡蛋白锰的生物学利用率分别为 125%和 145%。不同来源锰的生物学利用率的生物学研究主要集中在肉仔鸡上，产蛋母鸡的研究还比较缺乏。但相关研究也表明，有机锰在罗曼产蛋母鸡的相对生物学利用率也高于 $MnSO_4$[57]。中等络合强度有机锰能够显著缓解高温热应激对肉种母鸡产蛋性能的不良影响，而无机锰的效应不明显[58]。

3.2 繁殖轴

尽管有机锰的相对生物学利用率高于无机锰，但是饲粮添加有机锰和无机锰在改善母禽繁殖性能，如产蛋率、孵化率、受精率等方面，并未体现出明显差异[5,23,57,59]。Xie 等[23]通过饲喂肉种母鸡不同形式的锰源，发现中等强度的有机锰有增加血锰水平的趋势，但有机锰组丘脑中 GnRH-1 的表达水平显著低于无机锰。这一研究发现与有机锰（特别是中等络合强度有机锰）的高生物学利用率相冲突。中枢神经系统与其他组织器官不同，受到血脑屏障的保护，因此锰对中枢 GnRH-1 的调控作用的前提是通过血脑屏障。尽管螯合/络合态的有机锰可以协助锰在消化道的吸收和转运[55-56]，但由于螯合/络合状态改变了锰元素的理化性质（分子质量、极性）等[53]，有机锰不易通过血脑屏障。因此，有机锰的中枢靶组织利用可能与其他靶器官的有着很大的不同。

3.3 蛋品质

锰对蛋壳的显微结构和蛋品质至关重要。通过指数模型，Xiao 等[60]认为，氨基酸锰在产蛋鸡的相对生物学利用率高达 357%（蛋壳厚度）、406%（蛋壳强度）、458%（弹性模量），由此可见氨基酸锰可以显著改善鸡蛋的蛋壳质量。但有机锰和无机锰对蛋壳品质的形成的影响结论并不一致。饲喂肉种母鸡 16 周的有机和无机锰，并未发现种蛋在蛋壳厚度、强度等

存在显著差异[23]。但相关添加混合有机微量元素（锰、铜、锌）在改善蛋品质效果的相关研究也不一致。Gheisari 等[61]认为，添加 50%~75%的有机微量元素就足以维持蛋品质，而 Mabe 等[62]和 Stefanello 等[59]的研究表明添加有机和无机微量元素对蛋品质的影响并无显著差异。这些研究结果的不一致与动物模型、试验时间以及有机微量元素的性质（络合强度）等有着密切的关系。

4 小　结

锰作为家禽营养中重要的必需微量元素，在肉仔鸡上已经开展了很充分的研究，涵盖了锰需要量、吸收利用机制以及不同锰源的生物学利用率评价等多个方面，为锰营养在肉鸡健康生长和骨骼发育以及微量元素减排方面提供了充分的科学依据。尽管早期的研究以及人类和模式动物研究均已经表明，锰在维持动物的繁殖性能方面也至关重要，但与肉仔鸡相比，锰在调控家禽繁殖性能方面还缺乏系统的研究。产蛋期的母禽处于生理的特殊时期，饲粮锰不仅要供给骨骼等的代谢需求，还会影响蛋壳形成以及繁殖激素等合成与分泌，NRC 建议营养需要量能否满足产蛋期母禽锰的营养需求还需科学试验数据支持。此外，由于家禽与哺乳动物有着明显的生理差别，且人类和模式动物研究大多为锰中毒模型，因此，饲粮添加适量锰在调节家禽繁殖性能的内分泌机制还需进一步研究。

参考文献

[1] GREGER J L.Nutrition versus toxicology of manganese in humans:evaluation of potential biomarkers[J].Neurotoxicology,1999,20(2/3):205–212.

[2] OFFIONG S A,ABED S M.Fertility,hatghability and malformations in guinea fowl embryos as affected by dietary manganese[J].British Poultry Science,1980,21(5):371–375.

[3] TUORMAA T E.The adverse effects of manganese deficiency on reproduction and health:a literature review[J].Journal of Orthomolecular Medicine,1996,11(2):69–79.

[4] COOPER D M,CHUBB L G,ROWELL J G.The effect of manganese on reproduction in the domestic fowl[J].British Poultry Science,1963,4(1):83–90.

[5] ATTIA P Y A,QOTA E M,BOVERA F,et al.Effect of amount and source of manganese

and/or phytase supplementation on productive and reproductive performance and some physiological traits of dual purpose cross-bred hens in the tropics[J].British Poultry Science,2010,51(2):235–245.

[6] PROUDMAN J A,VANDESANDE F,BERGHMAN L R.Immunohistochemical evidence that follicle-stimulating hormone and luteinizing hormone reside in separate cells in the chicken pituitary[J].Biology of Reproduction,1999,60(6):1324–1328.

[7] PUEBLA-OSORIO N,PROUDMAN J A,COMPTON A E,et al.FSH- and LH-cells originate as separate cell populations and at different embryonic stages in the chicken embryo[J].General and Comparative Endocrinology,2002,127(3):242–248.

[8] DECUYPERE E,BRUGGEMAN V,EVERAERT N,et al.The broiler breeder paradox:ethical,genetic and physiological perspectives,and suggestions for solutions[J].British Poultry Science,2010,51(5):569–579.

[9] ROBINSON F E,WILSON J L,YU M W,et al.The relationship between body weight and reproductive efficiency in meat-type chickens[J].Poultry Science,1993,72(5):912–922.

[10] HOCKING P M.Effects of genetic selection and food restriction on ovarian function in poultry[C]//Forty-third Annual National Breeders Roundtable.St.Louis,Missouri.1994:97–105.

[11] HOCKING P M,MCCORMACK H A.Differential sensitivity of ovarian follicles to gonadotrophin stimulation in broiler and layer lines of domestic fowl[J].Journal of Reproduction and Fertility,1995,105(1):49–55.

[12] OGAWA K,TOJO H,KAJIMOTO Y.Inhibition of multiple ovulation in hypophysectomized hens treated with gonadotrophins[J].Journal of Reproduction and Fertility,1976,47(2):373–375.

[13] BRUGGEMAN V,D'HONDT E,BERGHMAN L,et al.The effect of food intake from 2 to 24 weeks of age on LHRH-I content in the median eminence and gonadotrophin levels in pituitary and plasma in female broiler breeder chickens[J].General and Comparative Endocrinology,1998,112(2):200–209.

[14] ONAGBESAN O M,METAYER S,TONA K,et al.Effects of genotype and feed allowance on plasma luteinizing hormones,follicle-stimulating hormones,progesterone,estradiol levels,follicle differentiation,and egg production rates of broiler breeder hens[J].Poultry Science,2006,85(7):1245–1258.

[15] RENEMA R A,ROBINSON F E,PROUDMAN J A,et al.Effects of body weight and feed allocation during sexual maturation in broiler breeder hens.2.ovarian morphology and plasma hormone profiles[J].Poultry Science,1999,78(5):629–639.

[16] ROMERO L F,RENEMA R A,NAEIMA A,et al.Effect of reducing body weight variability on the sexual maturation and reproductive performance of broiler breeder females[J].Poultry Science,2009,88(2):445–452.

[17] ZUIDHOF M J,RENEMA R A,ROBINSON F E.Reproductive efficiency and metabolism of female broiler breeders as affected by genotype,feed allocation,and age at photostimulation.3.reproductive efficiency[J].Poultry Science,2007,86(10):2278–2286.

[18] BIASON-LAUBER A,BOSCARO M,MANTERO F,et al.Defects of steroidogenesis[J].Journal of Endocrinological Investigation,2010,33(10):756–766.

[19] FORDAHL S,COONEY P,QIU Y P,et al.Waterborne manganese exposure alters plasma,brain,and liver metabolites accompanied by changes in stereotypic behaviors[J].Neurotoxicology and Teratology,2012,34(1):27–36.

[20] 张雪君,王宝维,葛文华,等.锰对 5~16 周龄五龙鹅血清生化指标、组织锰沉积量、抗氧化能力及胫骨发育的影响[J].动物营养学报,2014,26(5):1287–1293.

[21] 任海英,王安.饲粮锰水平对蛋雏鸭生长及血液生化指标的影响[J].东北农业大学学报,2005,36(1):54–59.

[22] 乔富强,姚华,李宏全,等.有机锰与有机铬对肉鸡生长性能、屠体性状及脂质代谢的影响[J].北京农学院学报,2007,22(1):32–38.

[23] XIE J J,TIAN C H,ZHU Y W,et al.Effects of inorganic and organic manganese supplementation on gonadotropin-releasing hormone-Ⅰ and follicle-stimulating hormone expression and reproductive performance of broiler breeder hens[J].Poultry

Science,2014,93(4):959–969.
[24] KLIMIS-TAVANTZIS D J,KRIS-ETHERTON P M,LEACH R M JR.The effect of dietary manganese deficiency on cholesterol and lipid metabolism in the estrogen-treated chicken and the laying hen[J].The Journal of Nutrition,1983,113(2):320–327.
[25] 曹盛丰,叶陈梁,陈希玉,等.日粮中锰对公鸡胆固醇含量及 ATP 酶活性的影响[J].上海交通大学学报,1990,8(4):291–296.
[26] 冯健,冯泽光.锰缺乏对蛋鸡生殖性能的影响[J].畜牧兽医学报,1998,29(6):499–505.
[27] 曹盛丰,陈鹭江.锰对白耳鸡血浆 LH 雌激素孕酮含量的影响[J].上海交通大学学报,1987,5(2):109–116.
[28] OKAMOTO K,ITO J,FURUSAWA T,et al.Reversible hyperintensity of the anterior pituitary gland on T1-weighted MR images in a patient receiving temporary parenteral nutrition[J].AJNR.American Journal of Neuroradiology,1998,19(7):1287–1289.
[29] REHNBERG G L,HEIN J F,CARTER S D,et al.Chronic ingestion of Mn_3O_4 by young rats:tissue accumulation,distribution,and depletion[J].Journal of Toxicology and Environmental Health,1981,7(2):263–272.
[30] MERRITT J E,BROWN B L.Dual Effects of manganese on prolactin secretion[J].Cell Calcium,1984,5(2):159–165.
[31] PINE M,LEE B,DEARTH R,et al.Manganese acts centrally to stimulate luteinizing hormone secretion:a potential influence on female pubertal development[J].Toxicological Sciences,2005,85(2):880–885.
[32] PRESTIFILIPPO J P,FERNÁNDEZ-SOLARI J,MOHN C,et al.Effect of manganese on luteinizing hormone-releasing hormone secretion in adult male rats[J].Toxicological Sciences,2007,97(1):75–80.
[33] LEE B,HINEY J K,PINE M D,et al.Manganese stimulates luteinizing hormone releasing hormone secretion in prepubertal female rats:hypothalamic site and mechanism of action[J].The Journal of Physiology,2007,578(3):765–772.
[34] FITZGERALD P,DINAN T G.Prolactin and dopamine:what is the connection?A review

article[J].Journal of Psychopharmacology,2008,22(Suppl.2):12–19.
[35] GREGORY S J,TOWNSEND J,MCNEILLY A S,et al.Effects of prolactin on the luteinizing hormone response to gonadotropin- releasing hormone in primary pituitary cell cultures during the ovine annual reproductive cycle[J].Biology of Reproduction,2004,70(5):1299–1305.
[36] HENDERSON H L,TOWNSEND J,TORTONESE D J.Direct effects of prolactin and dopamine on the gonadotroph response to GnRH[J].Journal of Endocrinology,2008,197(2):343–350.
[37] GUILARTE T R.Manganese and parkinson's disease:a critical review and new findings[J].Ciência & Saúde Coletiva,2011,16(11):4549–4566.
[38] RIVERA-MANCÍA S,RÍOS C,MONTES S.Manganese accumulation in the cns and associated pathologies[J].Biometals,2011,24(5):811–825.
[39] KIM E A,CHEONG H K,JOO K D,et al.Effect of manganese exposure on the neuroendocrine system in welders[J].Neurotoxicology,2007,28(2):263–269.
[40] ROQUE L,SOARES M C.Effects of eggshell quality and broiler breeder age on hatchability[J].Poultry Science,1994,73(12):1838–1845.
[41] 孙从佼,孙菡聪,侯卓成,等.丝羽乌鸡蛋品质对种蛋受精率和受精蛋孵化率的影响[J].中国家禽,2011,33(8):19–21.
[42] 刘汉林,吴维辉,韩友文,等.家禽锰营养研究——Ⅰ.蛋鸡锰营养对蛋质、孵化率的影响[J].东北农学院学报,1993,24(3):268–275.
[43] 彭秀丽,邓干臻,赵辉.日粮钙、锰水平对蛋鸡生产性能及蛋品质的影响[J].中国兽医学报,2002,22(3):311–314.
[44] 张建云,赵志恭,王守清,等.锰对种蛋受精率、孵化率及蛋中锰、铜、锌浓度的影响[J].动物营养学报,1996,8(1):6–11.
[45] LEACH R M JR,MUENSTER A M.Studies on the role of manganese in bone formation. Ⅰ.Effect upon the mucopolysaccharide content of chick bone[J].The Journal of Nutrition,1962,78:51–56.

[46] LEACH R M JR,MUENSTER A M,WIEN E M.Studies on the role of manganese in bone formation: Ⅱ.Effect upon chondroitin sulfate synthesis in chick epiphyseal cartilage[J].Archives of Biochemistry and Biophysics,1969,133(1):22–28.

[47] XIAO J F,ZHANG Y N,WU S G,et al.Manganese supplementation enhances the synthesis of glycosaminoglycan in eggshell membrane:a strategy to improve eggshell quality in laying hens[J].Poultry Science,2014,93(2):380–388.

[48] 杨斌,蔡辉益,刘国华,等.斜率比法评定肉仔鸡对氨基酸螯合锰的相对生物学利用率[J].动物营养学报,2014,26(8):2110–2117.

[49] SMITH M O,SHERMAN I L,MILLER L C,et al.Relative biological availability of manganese from manganese proteinate,manganese sulfate,and manganese monoxide in broilers reared at elevated temperatures[J].Poultry Science,1995,74(4):702–707.

[50] 李素芬,罗绪刚,刘彬,等.肉鸡对不同形态锰源的生物利用率研究[J].营养学报,2003,25(1):85–90.

[51] LI S F,LU L,HAO S F,et al.Dietary manganese modulates expression of the manganese-containing superoxide dismutase gene in chickens[J].The Journal of Nutrition,2011,141(2):189–194.

[52] LUO X G,LI S F,LU L,et al.Gene expression of manganese-containing superoxide dismutase as a biomarker of manganese bioavailability for manganese sources in broilers[J].Poultry Science,2007,86(5):888–894.

[53] LI S,LUO X,LIU B,et al.Use of Chemical characteristics to predict the relative bioavailability of supplemental organic manganese sources for broilers[J].Journal of Animal Science,2004,82(8):2352–2363.

[54] 李素芬,罗绪刚,吕林,等.静脉注射不同形态锰源对肉仔鸡生物学活性的影响[J].中国农业科学,2008,41(3):834–840.

[55] LI X L,XIE J J,LU L,et al.Kinetics of manganese transport and gene expressions of manganese transport carriers in Caco-2 cell monolayers[J].Biometals,2013,26(6):941–953.

[56] JI F,LUO X G,LU L,et al.Effect of manganese source on manganese absorption by the intestine of broilers[J].Poultry Science,2006,85(11):1947–1952.

[57] 陈寒青,吴晋强.锰源及锰水平对产蛋母鸡生产性能的影响[J].安徽农业大学学报,2002,29(1):44–48.

[58] ZHU Y W,XIE J J,LI W X,et al.Effects of environmental temperature and dietary manganese on egg production performance,egg quality,and some plasma biochemical traits of broiler breeders[J].Journal of Animal Science,2015,93(7):3431–3440.

[59] STEFANELLO C,SANTOS T C,MURAKAMI A E,et al.Productive performance,eggshell quality,and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals[J].Poultry Science,2014,93(1):104–113.

[60] XIAO J F,WU S G,ZHANG H J,et al.Bioefficacy comparison of organic manganese with inorganic manganese for eggshell quality in hy-line brown laying hens[J].Poultry Science,2015,94(8):1871–1878.

[61] GHEISARI A A,SANEI A,SAMIE A,et al.Effect of diets supplemented with different levels of manganese,zinc,and copper from their organic or inorganic sources on egg production and quality characteristics in laying hens[J].Biological Trace Element Research,2011,142(3):557–571.

[62] MABE I,RAPP C,BAIN M M,et al.Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese,copper,and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens[J].Poultry Science,2003,82(12):1903–1913.

Endocrine Mechanism of Dietary Manganese on Reproduction Performance in Female Poultry[2]

XIE Jingjing   LUO Xugang

(Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193*, China)*

Abstract: Reproduction performance is critical to the whole poultry production for layer and

---

Author, Xie Jingjing, assistant professor, E-mail: xiejingjing@caas.cn （责任编辑　陈　燕）

broiler. Manganese, as essential constitutional component or key cofactor for enzymes, participates in many phsiologcial activities, including growth, metabolism of carbohydrates and fat, et al. Manganese is also important to maintain reproductivity in mammals and birds. Here the neuroendocrine mechanism via which reproduction performance is regulated in female poultry was summarized. The regulatory mechanisms of manganese discussed involved in the biosynthesis of sex hormones, the neuroendocrine activity and egg quality. The functional differences between inorganic and organic manganese were also compared in the abovementioned aspects with an aim to elucidate the possible application of mangnese in female poultry, especially during laying period.

Key words: manganese sources; female poultry; reproduction performance; neuroendocrine; egg quality